

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-112031
(43)Date of publication of application : 28.04.1998

(51)Int. Cl. G11B 7/00
G11B 20/10

(21)Application number : 08-264073
(22)Date of filing : 04.10.1996

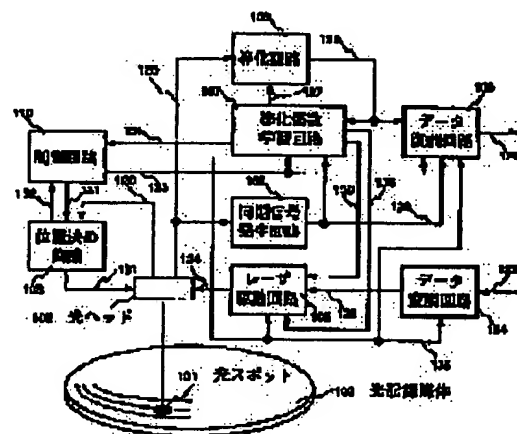
(71)Applicant : HITACHI LTD
(72)Inventor : WAKABAYASHI KOICHIRO
TSUCHINAGA HIROYUKI
SUKETA YASUSHI

(54) OPTICAL INFORMATION RECORDING AND REPRODUCING METHOD AND DEVICE THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a simple calculating method of equalization coefficient by optimizing an equalization coefficient based on an equalization coefficient learning signal obtained by scanning a prescribed mark train recorded in an area for optimizing the equalization coefficient provided on an optical recording medium with a light spot.

SOLUTION: Receiving an EFS starting signal 133 from a control circuit 110 an equalization learning (EFS) circuit 107 starts its operations and, at first, records an EFS mark pattern 130 in the EFS area of an optical recording medium 100 via a laser driving circuit 105 and an optical head 102 and reproduces the pattern. Next, the circuit 107 checks the resolution of an after equalization signal to be outputted by allowing an equalization circuit 108 to process a reproduced signal 125 and calculate an optimal equalization coefficient by successively increasing or decreasing equalization coefficients until the resolution becomes a stipulated value. Thus, an intercede interference being a problem at the time of reproducing information can be reduced in real time and the optimal equalization coefficient capable of coping even with a random access at high speed is realized with a simple constitution.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

特開平10-112031

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月28日

(51) Int.Cl.⁶

G 1 1 B 7/00

識別記号

20/10

3 2 1

F I

G 1 1 B 7/00

20/10

Y

R

3 2 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平8-264073

(22) 出願日

平成8年(1996)10月4日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 若林 康一郎

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 土永 浩之

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会

社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72) 発明者 助田 裕史

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

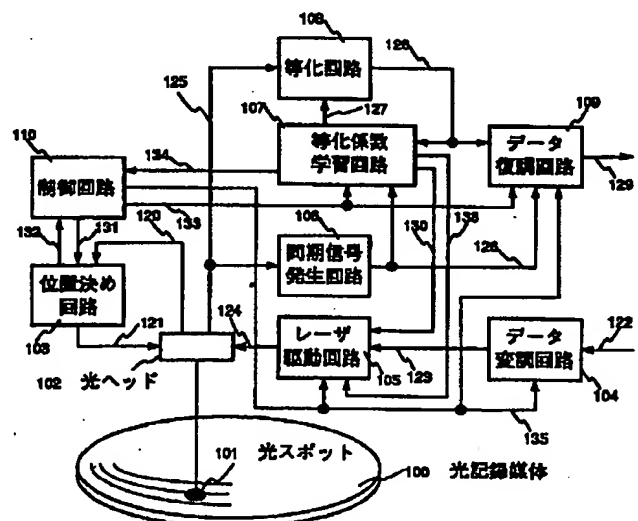
(54) 【発明の名称】 光学的情報記録再生方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 高密度に情報を記録再生できる光学的情報記録再生方法及び装置を提供する。

【解決手段】 光記録媒体上に等化係数を学習するための領域を設け、予め定められた学習マークを記録する。等化係数は学習マークを再生したときの分解能が予め定められた値となるように選択される。データ再生時には前記等化係数を用いて符号間干渉を低減するための信号処理を行い、信号のS/Nを向上させる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】複数のトラックと、該複数トラックの少なくとも一部の複数のトラックの各々上にあらかじめ定められた情報記録領域と、該複数トラックの少なくとも一部の複数のトラックの各々上にあらかじめ定められた等化係数学習領域とを光記録媒体上に設け、情報再生時には等化係数学習領域内に記録された等化係数学習マークを光スポットでもって走査し、該走査により等化係数学習マークによる光学的变化を検出して等化係数学習信号を生成し、該等化係数学習信号に基づき等化処理に用いる等化係数を最適化し、情報再生時には情報記録領域内に記録された情報マークを光スポットでもって走査し、該走査により情報マークによる光学的变化を検出して再生信号を生成し、その最適化された等化係数を用いて再生信号に含まれる符号間干渉を低減することによって光学的情報記録媒体に記録された情報を光学的に再生する方法であって、

情報再生前には、等化係数を学習すべきいずれか一つのトラック上の等化係数学習領域を光スポットでもって走査し、等化後の再生信号における分解能を検出するために予め記録された等化係数学習マーク列による光学的变化を検出して等化係数学習信号を生成し、該等化係数学習信号に対して予め定められた等化係数による等化処理を施して等化後学習信号を生成し、該等化後学習信号における分解能を検出し、該分解能が予め定められた値となるよう等化係数を変化させて最適化し、

情報再生時には、再生すべきいずれか一つのトラック上の情報記録領域を光スポットでもって走査し、情報マーク列による光学的变化を検出して再生信号を生成し、その最適化された等化係数による等化処理を該再生信号に施して符号間干渉を低減し、該符号間干渉が低減された後の再生信号に基づき記録された情報を再生する光学的情報再生方法。

【請求項2】請求項1記載の分解能において、上記等化係数学習信号に含まれる周波数 f_1 ($= 1 / (2 \times T_1)$) における信号振幅 S_1 と、上記等化係数学習信号に含まれる周波数 f_2 ($= 1 / (2 \times T_2)$) における信号振幅 S_2 の比、すなわち S_1 / S_2 として分解能が与えられることを特徴とする光学的情報再生方法。

【請求項3】請求項2記載の分解能において、等化係数の最適化時に必要な周波数 f_1 における信号振幅 S_1 を得るために、長さ T_1 のマークと長さ T_1 のギャップからなるマーク系列を光記録媒体上に記録し、かつ等化係数の最適化時に必要な周波数 f_2 における信号振幅 S_2 を得るために、長さ T_2 のマークと長さ T_2 のギャップからなるマーク系列を光記録媒体上に記録することを特徴とする光学的情報記録方法。

【請求項4】複数のトラックと、該複数トラックの少なくとも一部の複数のトラックの各々上にあらかじめ定められた情報記録領域と、該複数トラックの少なくとも一

部の複数のトラックの各々上にあらかじめ定められた等化係数学習領域とを光記録媒体上に設け、情報再生時には等化係数学習領域内に記録された等化係数学習マークを光スポットでもって走査し、該走査により等化係数学習マークによる光学的变化を検出して等化係数学習信号を生成し、該等化係数学習信号に基づき等化処理に用いる等化係数を最適化し、情報再生時には情報記録領域内に記録された情報マークを光スポットでもって走査し、該走査により情報マークによる光学的变化を検出して再生信号を生成し、その最適化された等化係数を用いて再生信号に含まれる符号間干渉を低減することによって光学的情報記録媒体に記録された情報を光学的に再生する装置であって、

情報を読み出すべきいずれか一つのトラック上に一つの光スポットを照射し、記録されたマークによる光学的变化を検出して再生信号を出力する光ヘッドと、上記一つのトラック上を該光スポットが走査するように、該光ヘッドを該光学的情報記録媒体に対して相対的に駆動する装置と、上記一つのトラック上の情報記録領域を該光スポットが走査しているときに該光ヘッドにより出力された再生信号から、その一つのトラック上の隣接する符号からの符号間干渉を低減する信号処理回路と、上記符号間干渉が低減された信号を予め定められた符号化則に従って復調する復調回路と、上記等化後の再生信号における分解能を検出するために等化係数学習マーク列を記録し、該等化係数学習マーク列による光学的变化を検出して等化係数学習信号を生成し、該等化係数学習信号に対して予め定められた等化係数による等化処理を施して等化後学習信号を生成し、該等化後学習信号における分解能を検出し、該分解能が予め定められた値となるよう等化係数を最適化する等化係数学習回路からなる光学的情報記録再生装置。

【請求項5】請求項4記載の等化係数学習回路において、上記等化係数学習信号に含まれる周波数 f_1 における信号振幅 S_1 と、上記等化係数学習信号に含まれる周波数 f_2 における信号振幅 S_2 をそれぞれ検出し、これら信号振幅と予め定められた分解能 A において ($A \times S_1 - S_2$) を算出し、この算出結果を0とする等化係数を導出することを特徴とする光学的情報再生装置。

【請求項6】請求項5記載の等化係数学習回路において、等化係数の最適化時に必要な周波数 f_1 における信号振幅 S_1 を得るために、長さ T_1 のマークと長さ T_1 のギャップからなるマーク系列を光記録媒体上に記録し、かつ等化係数の最適化時に必要な周波数 f_2 における信号振幅 S_2 を得るために、長さ T_2 のマークと長さ T_2 のギャップからなるマーク系列を光記録媒体上に記録することを特徴とする光学的情報記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ光を用いて

光学的記録媒体に情報を再生する光学的情報の再生方法、この方法を実施する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】レーザ光を用いて光記録媒体の情報トラック上に情報マークを記録し、この情報マークの有無に応じた光学的な変化を検出して情報を再生する光情報記録再生装置では、絞り込みレンズを用いてレーザ光を光記録媒体上に出来るだけ小さく集光する。この手段により光記録媒体上に形成される光スポットの最小の直径は、レーザ光の波長 λ と絞り込みレンズの開口数NAによって λ/NA で規定される。一方、光記録媒体の記録密度を向上させるためには、光スポット走査方向の情報マークの配列間隔（マークピッチ）を狭くする必要がある。しかし、光スポット径は上記 λ/NA で規定されるため、マークピッチが光スポット径よりも小さくなると、光スポットが1つの情報マークを照射したときに周囲の他の情報マークの一部も同時に照射してしまい、再生すべき情報マークの信号に周囲の情報マークの信号が漏れ込むという問題が起こる。この漏れ込み（符号間干渉）は、ノイズ成分として干渉し、再生の精度を低下させる。このような情報の漏れ込み成分を信号処理によってキャンセルすることにより、マークピッチを小さくする技術が、テレビジョン学会誌 ボルテージ44、ナンバー6（1990年）第728頁から第735頁に示されている。この手法を用いれば、マークピッチが光スポット径より小さくなくても再生時に高S/Nの再生信号を得ることができ高密度の記録再生を実現することができる。

【0003】ところで、一般に光情報記録再生装置の構成要素である光学系は位相差を持ち、また、光記録媒体は複屈折を持っているので、光の位相において空間的な歪みが生じる。この歪みは、光スポットの歪みの要因となり、光スポットの最小直径が上記値よりも大きくなったり光スポットの強度分布が歪んだりする。したがって、光学系の位相差値や光記録媒体の複屈折値の値が変化すると光スポットの形状も変化してしまう。上記光学系の位相差は各装置毎で異なり、光記録媒体の複屈折値は各媒体毎で異なるのが一般的である。すなわち、光スポットの形状は各装置及び各媒体毎に異なると考えなければならない。一方、光記録媒体の表面は平面ではなく反りが存在するため、光記録媒体を回転させて記録再生を行う場合、絞り込みレンズと光記録媒体間の距離が回転と共に0.2～0.3mm程度変化してしまう。絞り込みレンズの焦点深度は $\pm 1\mu\text{m}$ 程度しかないので、上記距離の変化は、最小の光スポットを形成する妨げになる。このような距離の変化に追従して最小のスポットを形成するための手段が、オートフォーカスサーボ方式であり（以下、AF方式と呼ぶ）、光記録媒体を回転させて記録再生を行う場合の必須の技術である。しかし、AF方式を用いても装置製造時における光学系の設定ずれ

や、経時変化による光学系のずれ及び環境温度の変化による光学系のずれにより、最大 $1\mu\text{m}$ 程度のフォーカス目標点からのずれが生じる。この場合、光記録媒体上に上記最小のスポットを形成することができなくなる。

【0004】上述したように符号間干渉量は光スポットが1つの情報マークを照射したときに周囲の他の情報マークの一部も同時に照射してしまうことから生じるものである。光スポット形状が変化すれば符号間干渉量も変化してしまう。上述したように、光スポットの形状は光情報記録再生装置や光記録媒体毎に異なるので符号間干渉量も光情報記録再生装置や光記録媒体毎に異なる。さらには同じ装置と記録媒体でも、経時変化や環境温度変化により光スポット形状が変化するので符号間干渉量も経時変化や環境温度変化により変化してしまう。この符号間干渉量の変化が生じた場合、一定の等化係数を用いて信号処理を行っていたのでは符号間干渉を十分に低減することはできない。これに対応して上述した従来技術であるテレビジョン学会誌 ボルテージ44、ナンバー6（1990年）第728頁から第735頁に示された信号処理では、光情報記録再生装置に光記録媒体が装着された状態において、符号間干渉を最大限に低減することのできる最適な等化係数を求めている。このようにして求めた最適な等化係数は、スポット形状を反映したものとなり、光情報記録再生装置の位相差や光記録媒体の複屈折率値、及び経時変化や環境温度変化に依らず最大限に符号間干渉量を低減できる。これを適応等化処理といい、最適な等化係数を求めるためのいくつかのアルゴリズムが提案されている。上記従来技術では等化係数算出法として、ベル システム テクニカル ジャーナル、ボルテージ44（1965年）第547頁から第587頁（BSTJ, Vol. 44, Apr. (1965), pp. 547-587）記載のゼロフォーシングアルゴリズムを用いている。以下、ゼロフォーシングアルゴリズムを用いた適応等化器について簡単に説明する。図11に適応等化器の基本構成を示す。トランスバーサルフィルタ出力端でのインパルス応答を $h(t)$ とすると、等化後の符号間干渉の絶対値の和Dは次式で与えられる。

【0005】

【数1】

$$D = \sum_{k=0}^{\infty} |h(kT)| \quad \dots (数1)$$

【0006】ゼロフォーシングアルゴリズムは、このDの値が最小になるようにトランスバーサルフィルタのタップ係数 c_j を制御する。時刻 kT における情報源からのパルス列を a_k とする。Tはビット周期であり、また、 a_k は2値信号であり、“1”あるいは“0”をとる。トランスバーサルフィルタ出力端での時刻 kT における出力は次式で与えられる。

【0007】

【数2】

$$y_k = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n h(kT - nT) \quad \dots (数2)$$

【0008】ここで、等化誤差に相当する信号 e_k は

【0009】

【数3】

$$e_k = y_k - a_k' \quad \dots (数3)$$

【0010】で与えられる。 a_k' は y_k を図11の比較器で識別した値であり、符号誤りがなければ a_k と一致する。等化誤差の評価関数 H_j は前述の a_k' 、 e_k から次式で与えられる。

【0011】

【数4】

$$H_j = \sum_{k=0}^{\infty} \operatorname{sgn}(a_k') \operatorname{sgn}(e_k) \quad \dots (数4)$$

【0012】 H_j が正であれば、利得調整回路でタップ係数 c_j を微小量 Δ だけ増加させ、逆に H_j が負であれば、微小量 Δ だけ減少させることで、数1に示した符号間干渉 D を低減できる。

【0013】図12に、適応等化器の実際の構成例を示す。トランスバーサルフィルタの出力信号を併置した2個の比較器に同時に供給し、一方の比較器で信号の識別再生を行い、他方の比較器でその参照レベルを変化させて等化誤差を検出する。参照レベルは、低速 D/A 変換器を通して制御する。データ識別再生と等化誤差検出用比較器からのデータをFIFOメモリに格納し、このデータをもとに、CPUで自動等化に必要な評価値を求めタップ係数を切り替える。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】上記テレビジョン学会誌 ボルテージ44、ナンバー6（1990年）第728頁から第735頁に記載されている従来技術では、等化係数の算出法が複雑で、この手法を回路で実現するには大規模な演算を処理するためのCPUを必要とし、回路規模が大きくなってしまいう問題があった。

【0015】そこで、本発明の目的は、従来のような符号間干渉を最大限に低減するための等化係数を算出する方法と装置において、従来よりも簡易な等化係数の算出

方法と、その等化係数の導出を実現する装置を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では、光記録媒体として、少なくとも信号処理に用いる等化係数の最適化を行うための領域と、情報を記憶するための領域を設けた光学的情報記録媒体を使用し、情報の再生前には、等化係数の最適化を行うための領域に記録された所定のマーク列を光スポットで走査することで得られる等化係数学習信号に基づいて等化係数の最適化を行い、情報再生時には、情報を記憶するための領域に記録された情報マーク列を光スポットで走査することで得られる再生信号とその最適な等化係数に基づいて符号間干渉を低減するための信号処理を行って、当該符号間干渉が低減された再生信号に基づいて記録媒体上に記録された情報を再生する。

【0017】本発明に係る光学的情報再生方法では、いかなる光情報記録再生装置や光記録媒体においても、さらには経時変化や環境温度の変化が生じた場合でも、情報を再生したときに得られる信号の分解能があらかじめ定められた値となるように等化係数を制御する。上記符号間干渉は再生信号の分解能がある値（例えば α とする）となる場合において最小となるので、何らかの外乱が生じて符号間干渉が発生した場合でも、分解能が α となるように等化係数を制御すれば、符号間干渉を最小にすることができる。以下、この理由について説明する。

【0018】符号間干渉が無い周波数スペクトルの条件は、ベル システム テクニカルジャーナル ボルテージ44（1965年）第1487頁から第1510頁（BSTJ, Vol. 44, Nov. (1965), pp.1487-1510）記載のナイキストの無歪みの条件として知られている。すなわち、再生系の周波数スペクトルが以下の条件を満たすとき、符号間干渉のない波形を得ることができる。符号速度 $1/T$ でパルスが無歪に伝送するために、周波数スペクトルの実数部（各周波数における信号振幅）についての条件は、

【0019】

【数5】

$$Y_1(\pi/T - \omega) = -Y_1(\pi/T + \omega) \quad 0 \leq \omega \leq \pi/T \quad \dots (数5)$$

【0020】の関数 $Y_1(\omega)$ を用いて

【数6】

【0021】

$$\left. \begin{aligned} Y_1(\omega) &= 1 + Y_1(\omega) \quad |\omega| \leq \pi/T \\ Y_1(\omega) &= Y_1(\omega) \quad \pi/T \leq |\omega| \leq 2\pi/T \end{aligned} \right\} \quad \dots (数6)$$

【0022】となる伝送特性を構成することである。同様に虚数部（各周波数における位相） $Y_i(\omega)$ は

【0023】

【数7】

$$Y_2(\pi/T - \omega) = Y_2(\pi/T + \omega) \quad 0 \leq \omega \leq \pi/T \quad \dots (数7)$$

【0024】の関係を満たし、 $\omega = \pi/T$ を中心にして偶対称であればよい。

【0025】上述した符号間干渉は周波数スペクトラムにおいて上記条件が満たされない場合に生じる。このような場合、信号処理（等化处理）を行って周波数スペクトラムをナイキストの無歪み条件に近づけるように操作する。図4に示した3タップのトランスバーサルフィルタは簡単な回路で実現できる等化回路として最も一般に用いられ、2つの遅延回路150と151、及び3つの利得調整回路152～154および1つの加算器155からなる。遅延回路150は再生信号125をD1だけ遅延させた遅延信号160を出力し、遅延回路151は遅延信号160をD2だけ遅延させた遅延信号161を出力する。上記等化係数は利得調整回路152～154で用いられ、3タップ等化回路の場合K0～K2の3つの等化係数を必要とする。但し、K0の値は1とすることが多く、この場合、K1とK2は-1以上0以下の値となる。利得調整回路152は再生信号125をK1倍した結果得られる利得調整信号162を出力し、利得調整回路153は遅延信号160をK0倍した結果得られる利得調整信号163を出力し、利得調整回路151は遅延信号161をK2倍した結果得られる利得調整信号164を出力する。加算器155は利得調整信号162～164を加算することによって得られる等化後信号128を出力する。上記等化係数K0～K2を記録再生を行うシステムに対して最適な値に設定し、周波数スペクトラムをナイキストの無歪み条件に近づけるように操作すれば、再生信号125に含まれる符号間干渉を最も低減でき、高S/Nの等化後信号128を得ることができる。

【0026】以上を踏まえると、等化後の周波数スペクトラムが例えば図6に示した周波数スペクトラムであればナイキストの無歪み条件から符号間干渉が0となる。Tはビット周期であり、縦軸はスペクトルの実数部を表し、虚数部は周波数によらず一定とした。ここで周波数f1における信号振幅をS1、周波数f2における信号振幅をS2とすると、周波数f1とf2における分解能Aは $S1/S2$ で表される。一方、符号間干渉が生じる場合とは、等化後の周波数スペクトルが上記ナイキストの無歪み条件からずれる場合に相当する。例えば、図7に示したようなナイキストの無歪み条件からずれた周波数スペクトラムであれば符号間干渉が生じる。この場合、周波数f1とf2における分解能Aは $S1'/S2'$ で表され、符号間干渉がない場合の分解能値と異なる。したがって、記録再生システムにおいて常に分解能を監視しておき、何らかの外乱が生じて分解能Aが $S1/S2$ からずれた値となった場合でも、 $S1/S2$ となるようにスペクトラムを制御すれば符号間干渉を0にできる。スペクトラムは等化处理に用いる等化係数を変えることで操作できる。すなわち、いかなる条件下におい

ても符号間干渉を常に0にするためには、 $S1/S2$ の分解能が得られるように等化係数を制御すればよいことがわかる。

【0027】本発明では、分解能を一定に保つような等化係数の最適化を行うために、光記録媒体上に等化係数学習領域を設け、この領域に上記分解能を検出するための所定のマーク列を記録する。図2に本発明における光記録媒体の一例を示す。前記等化係数学習領域は140a～140cで、データ記憶領域141a～141cはユーザデータの記憶領域である。トラック142上に沿ってユーザデータの情報マーク143や等化係数を学習するための等化係数学習マーク144が記録される。ここで、情報の符号化則として1-7変調のマークエッジ記録を用いる場合を仮定すると、光記録媒体上に記録される最短マーク長は2Tで最長マーク長は8Tとなる。例えば上記f1を $1/4T$ としf2を $1/16T$ とするならば、分解能を監視するための所定のマーク列として、図2に示したように2Tのマークと2Tのブランクが周期的に現われるマーク列（周期4T）と8Tのマークと8Tのブランクが周期的に現われるマーク列（周期16T）を記録すればよい。

【0028】図5は、図2に示した等化係数学習マーク列を光スポットで走査したときに得られる等化後信号の概略図である。4T周期の信号振幅を $S1'$ とし、16T周期の信号振幅を $S2'$ とすると、分解能Aは、 $S1'/S2'$ で与えられる。本発明における情報再生方法では、分解能Aが例えば $S1/S2$ となるような等化係数を最適化値として選択し、この最適化された等化係数を用いて符号間干渉を低減するための信号処理を行う。例えば、等化係数Kにおいて得られた分解能A'が所定の分解能Aよりも小さい場合、等化係数を $(K+\Delta)$ としてさらに分解能を調べる。一方、等化係数Kにおいて得られた分解能A'が所定の分解能Aよりも大きい場合、等化係数を $(K-\Delta)$ としてさらに分解能を調べる。これを順次繰り返すことによって、所定の分解能Aを実現する等化係数を求めることができる。

【0029】本発明における情報再生方式では、所定のマーク列の振幅を検出して分解能を調べるだけでよく、従来方式のように再生信号を2値化した結果をメモリに蓄積したり、CPUを用いて複雑な演算をする必要もないので、回路規模を大幅に縮小できる。また、等化係数の最適化処理法が簡単であり、簡素な回路で実現可能であることから処理速度も大幅に改善できる。

【0030】（実施例）以下、本発明に係る光学的情報記録再生方法及び装置並びにこれに用いる光記録媒体を、図面に記載したいくつかの実施例を参照してさらに詳細に説明する。なお、以下においては、同じ参照番号は同じものもしくは類似のものを表わすものとする。

【0031】（装置の概要）図1は、本発明に係る光情報記録再生装置の概略構成図である。

【0032】この光情報記録再生装置は、図示しない駆動装置に搭載された、光記録媒体100と、情報を記録するあるいは記録された情報を再生するときに、一つの光スポット101を光記録媒体100上に照射する光ヘッド102と、光スポット100の位置決めを実行する位置決め回路103と、情報記録時には記録すべきユーザデータ122をあらかじめ定められた変調方式にしたがって変調して出力するデータ変調回路104と、データ変調回路104から出力された変調信号123に基づき光スポットの強度を変調して光記録媒体100上に変調されたデータを記録するレーザ駆動回路105と、情報再生時には光スポット101がトラックを走査することで得られる再生信号125に基づき光記録媒体100の回転に同期した信号を発生する同期信号発生回路106と、再生信号125に含まれる符号間干渉を低減する等化回路108と、光情報記録再生装置に光記録媒体を装着した状態で等化回路108が用いる最適な等化係数127を求めるための等化係数学習回路107と、符号間干渉が低減された等化後信号128に基づき再生データ129を生成するデータ復調回路109と、上記各回路を制御する制御回路110から構成される。

【0033】（光記録媒体）本発明では、等化係数の学習領域を設けた光記録媒体を用いる。図2は本実施例で用いた光記録媒体100の概観を示す。光記録媒体の一部に等化係数学習領域140a～140cを割り当て、この領域に等化後信号128の分解能を調べるためのマーク列を記録する。ユーザはデータ記憶領域141a～141cに情報を記憶することができる。本実施例では図1のデータ変調回路104で行われる変調と、データ復調回路109で行われる復調には1-7変調のマークエッジ記録方式を用いたので、光記録媒体上に記録される最短マーク長は2Tで最長マーク長は8Tとなる。ここで、Tはビット周期を表す。等化係数学習領域140a～140cには、等化後信号の分解能を調べて等化係数を最適化するためのマーク列として、図2(b)に示したように2Tのマークと2Tのブランクが周期的に現われるマーク列（周期4T）と8Tのマークと8Tのブランクが周期的に現われるマーク列（周期16T）を記録した。したがって、上記周波数f1は1/4Tで、周波数f2は1/16Tである。この学習マークの記録回路については次に詳しく説明する。

【0034】（等化係数学習マークの記録）本発明は、等化係数の学習方法およびこれを実現する装置（図1に示した等化係数学習回路107）に特徴がある。まず、等化係数を学習するための上記学習マーク列144を記録する方法と回路について説明する。等化係数の最適化を行う場合、図1に示した制御回路110は位置決め回路103に等化係数学習領域140bへの移動命令信号131を送信する。移動命令信号131を受けた位置決め回路103は光ヘッド102を等化係数学習領域140bへ位置決めする。位置決めが完了すると位置決め回路103は制御回路110へ位置決め完了信号132を送信する。位置決め完了信号132を受けた制御回路110は、記録ゲート135をLにしてレーザ駆動回路105とデータ変調回路104とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を開始し、データ変調回路104が機能を一時停止する。また、レーザ駆動回路105は記録ゲート135がLになったことを受けて再生モードになり、光ヘッド102内にあるレーザが予め定められた再生パワーを出力するように光ヘッド102を駆動する。さらに制御回路110は、等化係数学習開始信号133をHにして等化係数学習回路107とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を一時停止し、等化係数学習回路107が動作を開始する。等化係数学習回路107は、等化係数学習領域140a～140cへ等化係数学習マーク144を記録し、この等化係数学習マーク144を再生した結果得られる再生波形に基づき最適な等化係数を求める。等化係数学習回路107を図3に詳しく示した。以下、図3に基づいて説明する。等化係数学習回路107内の各回路は、マイクロプロセッサ220によって管理され、学習マークの記録と学習マークの再生波形に基づく等化係数の最適化を管理する。等化係数学習信号133がHになると、マイクロプロセッサ220は、等化係数最適化完了信号134をLにして、ま

0bへ位置決めする。位置決めが完了すると位置決め回路103は制御回路110へ位置決め完了信号132を送信する。位置決め完了信号132を受けた制御回路110は、記録ゲート135をLにしてレーザ駆動回路105とデータ変調回路104とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を開始し、データ変調回路104が機能を一時停止する。また、レーザ駆動回路105は記録ゲート135がLになったことを受けて再生モードになり、光ヘッド102内にあるレーザが予め定められた再生パワーを出力するように光ヘッド102を駆動する。さらに制御回路110は、等化係数学習開始信号133をHにして等化係数学習回路107とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を一時停止し、等化係数学習回路107が動作を開始する。等化係数学習回路107は、等化係数

（等化係数学習マークの記録）本発明は、等化係数の学習方法およびこれを実現する装置（図1に示した等化係数学習回路107）に特徴がある。まず、等化係数を学習するための上記学習マーク列144を記録する方法と回路について説明する。等化係数の最適化を行う場合、図1に示した制御回路110は位置決め回路103に等化係数学習領域140bへの移動命令信号131を送信する。移動命令信号131を受けた位置決め回路103は光ヘッド102を等化係数学習領域140bへ位置決めする。位置決めが完了すると位置決め回路103は制御回路110へ位置決め完了信号132を送信する。位置決め完了信号132を受けた制御回路110は、記録ゲート135をLにしてレーザ駆動回路105とデータ変調回路104とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を開始し、データ変調回路104が機能を一時停止する。また、レーザ駆動回路105は記録ゲート135がLになったことを受けて再生モードになり、光ヘッド102内にあるレーザが予め定められた再生パワーを出力するように光ヘッド102を駆動する。さらに制御回路110は、等化係数学習開始信号133をHにして等化係数学習回路107とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を一時停止し、等化係数学習回路107が動作を開始する。等化係数学習回路107は、等化係数学習領域140a～140cへ等化係数学習マーク144を記録し、この等化係数学習マーク144を再生した結果得られる再生波形に基づき最適な等化係数を求める。等化係数学習回路107を図3に詳しく示した。以下、図3に基づいて説明する。等化係数学習回路107内の各回路は、マイクロプロセッサ220によって管理され、学習マークの記録と学習マークの再生波形に基づく等化係数の最適化を管理する。等化係数学習信号133がHになると、マイクロプロセッサ220は、等化係数最適化完了信号134をLにして、ま

ず等化係数学習マーク記録開始信号136をHにして、学習マークパターン発生回路221と、レーザ駆動回路105へ送信する。これを受けた学習マークパターン発生回路221は、等化係数学習用マーク列に相当した2値信号系列である等化係数学習用マークパターン130をレーザ駆動回路105に送信する。これを受けてレーザ駆動回路105は光ヘッド102を変調し、等化係数学習領域140bへ等化係数学習マーク列144を記録する。本実施例で用いた等化係数学習用マーク列144は、2Tのマークと2Tのブランクに相当する系列と、8Tのマークと8Tのブランクに相当する系列を交互に繰り返し記録する(図2参照)。前記記録が終了すれば等化係数学習マーク記録開始信号136はLとなり、レーザ駆動回路105は光ヘッド102内にあるレーザが予め定められた再生パワーを出力するように光ヘッド102を駆動し、学習マークの記録の動作が完了する。同様に、等化係数学習領域140a及び140cにも等化係数学習マーク列が記録できる。

【0035】本実施例では等化回路108として図4に示した3タップトランスバースアルフィルタを用いたので、信号処理に用いられる等化係数はK0~K2の3つとなる。

【0036】(等化係数の最適化) 上記等化係数学習マークの記録が終了すると、等化係数学習回路107は等化係数の最適化を開始する。等化係数の最適化では、まず等化後信号128の分解能を検出する必要がある。検出方法の概略は以下のとおりである。等化係数Kにおいて、4T周期(周波数 f_1)の信号振幅を補償するローパスフィルタを用いて等化後信号128に含まれる雑音を低減した後、4T周期の信号波形におけるトップレベルとボトムレベルの抽出を行い、両者の差分を計算することにより周波数 f_1 の信号振幅を得る。同様に、16T周期(周波数 f_2)の信号振幅を補償するローパスフィルタによる雑音低減を行った後、16T周期の信号波形におけるトップレベルとボトムレベルの抽出を行い、両者の差分を計算することにより周波数 f_2 の信号振幅を得る。ここで、あらかじめ定められた分解能を $A=f_1/f_2=\alpha$ とする。この場合、等化係数を最適化するための評価値として周波数 f_1 における信号振幅に α を掛けた値と、周波数 f_2 における信号振幅の差分値を用いる。この評価値が負の時、定められた分解能よりも小さいことが分かるので、等化係数を $(K+\Delta)$ としてさらに分解能を調べる。一方、前記評価値が正の時、定められた分解能よりも大きいことが分かるので、等化係数を $(K-\Delta)$ としてさらに分解能を調べる。これを順次繰り返して、前記評価値の符号が変化した等化係数値を求める。

【0037】以上の処理を行う回路を図3に示した。等化係数の最適化開始に先立ってマイクロプロセッサ220は加算器206~209内のメモリの内容と、タイミ

ング制御回路212と213のカウンタ値の内容をリセットするためのリセット信号271を送信する。タイミング制御回路212は4T周期の信号波形のトップレベルとボトムレベルを抽出するために用いられるクロックを生成する。具体的には、タイミング制御回路212は同期信号126を逡倍する回路からなり、4T波形のトップレベルとボトムレベルの各々に波形の立ち上がりが同期するような4Tサンプルクロック262を発生する。4Tサンプルクロック262は4T波形が得られる時間だけ生成される。一方、タイミング制御回路213は16T周期の信号波形のトップレベルとボトムレベルを抽出するために用いられるクロックを生成する。具体的には、タイミング制御回路213は同期信号126を逡倍する回路からなり、16T波形のトップレベルとボトムレベルの各々に波形の立ち上がりが同期するような16Tサンプルクロック263を発生する。16Tサンプルクロック263は16T波形が得られる時間だけ生成される。4Tサンプルクロック及び16Tサンプルクロックと等化係数学習マーク列144を再生したときの等化後信号の位相関係を図5に示す。

【0038】4T波形の振幅は以下のようにして求める。等化後信号128をローパスフィルタ200に通して雑音低減を行う。サンプル・ホールド回路202は雑音低減後信号250の信号レベルを上記4Tサンプルクロック262の立ち上がり時にサンプルしてそのレベルをホールドする。ホールド後信号252はアナログ・デジタル変換器204によってデジタル信号254へ変換される。4Tサンプルクロック262の立ち上がりは4T波形のトップレベルとボトムレベルの両方に同期しているので、デジタル信号254は4T波形のトップレベルとボトムレベルを交互に表すことになる。したがって、デジタル信号254からトップレベルとボトムレベルを切り分けて抽出する必要がある。そこで、逡倍回路214は4Tサンプルクロック262を2逡倍して逡倍クロック264を出力する。逡倍クロック264の立ち上がりは4T波形のトップレベル位置に同期する。一方、反転回路216を通過した逡倍クロック264は反転逡倍クロック266となり、反転逡倍クロック266の立ち上がりは4T波形のボトムレベル位置に同期する。したがって、逡倍クロック264の立ち上がりでデジタル信号254を読み取ることによりトップレベルを抽出することができ、反転逡倍クロック266の立ち上がりでデジタル信号254を読み取ることによりボトムレベルを抽出することができる。これを行う回路が加算器206と208で、加算器206は、逡倍クロック264の立ち上がり時にデジタル信号254の値を読み取り、加算器206内の保存値とデジタル信号254を加算した値をトップレベル信号256として出力する。そして、トップレベル信号256は加算器206内の新たな保存値となる。同様に、加算器20

8は反転遅倍クロック266の立ち上がり時に、加算器208内の保存値とデジタル信号254を加算した値をボトムレベル信号258として出力する。そして、ボトムレベル信号258は加算器208内の新たな保存値となる。加算器206と208はトップレベル信号256やボトムレベル信号258内に含まれるローパスフィルタ200で低減しきれなかった雑音を低減する目的を有する。

【0039】同様に16T波形の振幅は以下のようにして求める。等化後信号128をローパスフィルタ201に通して雑音低減を行う。サンプル・ホールド回路203は雑音低減後信号251の信号レベルを上記16Tサンプルクロック263の立ち上がり時にサンプルしてそのレベルをホールドする。ホールド後信号253はアナログ・デジタル変換器205によってデジタル信号255へ変換される。16Tサンプルクロック263の立ち上がりは16T波形のトップレベルとボトムレベルの両方に同期しているため、デジタル信号255は16T波形のトップレベルとボトムレベルを交互に表すことになる。したがって、デジタル信号255からトップレベルとボトムレベルを切り分けて抽出する必要がある。そこで、遅倍回路215は16Tサンプルクロック263を2遅倍して遅倍クロック265を出力する。遅倍クロック265の立ち上がりは16T波形のトップレベル位置に同期する。一方、反転回路217を通過した遅倍クロック265は反転遅倍クロック267となり、反転遅倍クロック267の立ち上がりは16T波形のボトムレベル位置に同期する。したがって、遅倍クロック265の立ち上がりでデジタル信号255を読み取ることによりトップレベルを抽出することができ、反転遅倍クロック267の立ち上がりでデジタル信号255を読み取ることによりボトムレベルを抽出することができる。これを行う回路が加算器207と209で、加算器207は、遅倍クロック265の立ち上がり時にデジタル信号255の値を読み取り、加算器207内の保存値とデジタル信号255を加算した値をトップレベル信号257として出力する。また、トップレベル信号257は加算器207内の新たな保存値となる。同様にして、加算器209は反転遅倍クロック267の立ち上がり時に、加算器209内の保存値とデジタル信号255を加算した値をボトムレベル信号259として出力する。また、ボトムレベル信号259は加算器209内の新たな保存値となる。加算器207と209はトップレベル信号257やボトムレベル信号259内に含まれるローパスフィルタ201で低減しきれなかった雑音を低減する目的を有する。

【0040】上記、4T波形のトップレベルとボトムレベルを抽出し、かつ16T波形のトップレベルとボトムレベルを抽出し終わると、マイクロプロセッサ220は分解能計算開始信号270として予め定められた周期の

クロック信号を出力し始める。分解能計算開始信号270を受けた差分器210は加算器206内に保存されているトップレベル信号256と、加算器208内に保存されているボトムレベル信号258に基づき4T波形

(周波数 f_1)の振幅260を計算する。分解能計算開始信号270を受けた差分器211は加算器207内に保存されているトップレベル信号257と、加算器209内に保存されているボトムレベル信号259に基づき16T波形(周波数 f_2)の振幅261を計算する。利得調整回路218は4T波形の振幅260に対してあらかじめ定められた分解能 α を掛けて利得調整4T振幅268として出力する。差分器219は利得調整4T振幅268と16T波形の振幅261の差分値を計算して等化係数評価信号269として出力する。

【0041】この等化係数評価信号269が負の時、定められた分解能よりも小さいことが分かるので、マイクロプロセッサ220は等化係数127aを1、等化係数127bを $K_1 = (K_1' + \Delta)$ 、等化係数127cを $K_2 = (K_2' + \Delta)$ としてさらに上記等化係数の最適化の動作を繰り返す。一方、上記等化係数評価信号269が正の時、定められた分解能よりも大きいことが分かるので、マイクロプロセッサ220は等化係数127aを1、等化係数127bを $K_1 = (K_1' - \Delta)$ 、等化係数127cを $K_2 = (K_2' - \Delta)$ としてさらに上記等化係数の最適化の動作を繰り返す。マイクロプロセッサ220はこれを順次繰り返して、等化係数評価信号269の符号が変化した時の等化係数値 K_1 及び K_2 を求める。等化係数の最適化が終了すると、マイクロプロセッサ220は等化係数最適化完了信号134をHにして送信し、これを受けた制御回路110は等化係数学習信号133をLにして等化係数学習動作を終了する。同様にして、等化係数学習領域140a及び140cにおいても同様の等化係数の学習を行えばよい。

【0042】(ユーザデータの記録)ユーザデータを記録する場合、まず光ヘッド102をデータ記憶領域141a~141c内の記録すべき目標位置へ位置付ける必要がある。そのために制御回路110は位置決め回路103に記録すべき目標位置を表す移動命令信号131を送信する。移動命令信号131を受けた位置決め回路103は光ヘッド102を目標位置へ位置付ける。位置決めが完了すると位置決め回路103は制御回路110へ位置決め完了信号132を送信する。位置決め完了信号132を受けた制御回路110は、記録ゲート135をHにしてレーザ駆動回路105とデータ変調回路104とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を一時停止し、データ変調回路104が機能を開始する。また、レーザ駆動回路105は記録ゲート135がHになったことを受けて記録モードになる。ユーザデータ122は、データ変調回路104で予め定められた変調方式の符号化則に従って変調

され、変調後データ123に変換される。本実施例では変調方式として1-7変調のマークエッジ記録方式を用いた。レーザ駆動回路105は、変調後データ123に基づいて光ヘッド102の光強度や磁界強度を変調し、光記録媒体100上のデータ記憶領域141a~141c内のトラック142上に沿って情報マーク143を記録する。記録が終了すると、制御回路110は記録ゲート135をLにしてレーザ駆動回路105とデータ変調回路104とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を開始し、データ変調回路104が機能を一時停止する。以上のようにしてユーザデータの記録を終了する。

【0043】(情報の再生時の信号処理) 情報再生時には、制御回路110は記録ゲート135をLにしてレーザ駆動回路105とデータ変調回路104とデータ復調回路109へ送信する。これを受信したデータ復調回路109は機能を開始し、データ変調回路104が機能を一時停止する。また、レーザ駆動回路105は記録ゲート135がLになったことを受けて再生モードになり、レーザが予め定められた再生パワーを出力するように光ヘッド102を駆動する。光記録媒体100の回転に伴い、光ヘッド102はトラック142上に沿って記録された情報マーク143を走査して再生信号125を得る。再生信号125には上述した符号間干渉が含まれているので等化回路108にて信号処理を行って符号間干渉を低減する。図4は本実施例で用いた等化回路(3タップトランスバーサルフィルタ)を示す。3タップのトランスバーサルフィルタは2つの遅延回路150と151、及び3つの利得調整回路152~154および1つの加算器155からなる。遅延回路150は再生信号125をD1だけ遅延させた遅延信号160を出力し、遅延回路151は遅延信号160をD2だけ遅延させた遅延信号161を出力する。上記等化係数は利得調整回路152~154で用いられ、3タップ等化回路ではK0~K2の3つの等化係数を必要とする。これら等化係数は上記等化係数学習回路107によって最適化される。利得調整回路152は再生信号125をK1倍した結果得られる利得調整信号162を出力し、利得調整回路153は遅延信号160をK0倍した結果得られる利得調整信号163を出力し、利得調整回路154は遅延信号161をK2倍した結果得られる利得調整信号164を出力する。加算器155は利得調整信号162~164を加算することによって得られる等化後信号128を出力する。等化係数K0~K2はシステムに対して最適な値に設定されるので、再生信号125に含まれる符号間干渉を最大に低減でき、高S/Nの等化後信号128を得ることができる。

【0044】次にデータ復調回路109は等化後信号128に基づいてユーザデータ系列を生成する。データ復調回路109の概略図を図10に示す。等化後信号12

8は2値化回路400によって2値化され2値化信号401として出力される。復調回路402は2値化信号401を記録するときに用いた符号化則に基づいて復調し、再生ユーザデータ129を出力する。上述したように本実施例では符号化則として1-7変調方式を用いた。

【0045】(本実施例での等化係数最適化の効果) 以下では本実施例の効果について述べる。本実施例における等化係数の最適化では、図1に示したデータ変調回路104で用いられる情報の符号化則として1-7変調のマークエッジ記録を用いた。この場合、光記録媒体上に記録される最短マーク長は2Tで最長マーク長は8Tとなる。本実施例では上記f1を1/4Tとしf2を1/16Tとし、分解能を検出するための所定のマーク列として、図2に示したような2Tのマークと2Tのブランクが周期的に現われるマーク列(周期4T)と8Tのマークと8Tのブランクが周期的に現われるマーク列(周期16T)を記録した。ここで、光源の波長λは680nm、絞り込みレンズの開口数NAは0.55、ビット周期Tは0.27μmとした。この場合、等化係数K1とK2を変化させながら等化後信号をスライスしたときのジッタ量の最小値から、符号間干渉が最小となる分解能Aは-10dBで等化係数はK1=K2=-0.125であることがわかった。但し、等化時の遅延量はD1=D2=1.5Tとした。

【0046】上記条件化で、オートフォーカスのオフセット量を故意的に変動させることで符号間干渉量を変化させた。図9はAFオフセット量を変化させたときの分解能の変化を示す。等化係数を固定値にしたままではAFオフセット量に依存して分解能も変化することが分かる。上述したように、分解能が最適値から変化すれば符号間干渉量は増加する。したがって等化係数が固定値のままでは図8に示したようにAFオフセット量にしたがってジッタ量も増加することが分かる。しかし、図9に示したようにAFオフセットが生じた場合でも分解能が-10dBとなるように等化係数K1およびK2を選べば、図8に示したようにジッタ量を小さく抑えることができ、等化係数を12.5%に固定した場合に比べて大幅にジッタ量が改善されていることがわかる。

【0047】以上のように、オートフォーカスのオフセット量に変化して符号間干渉量が増加した場合でも、あらかじめ定められた分解能値を実現する等化係数を選択することにより、符号間干渉量を低減できることが分かった。光情報記録再生装置や光記録媒体毎の符号間干渉の差異、及び経時変化や環境温度変化による符号間干渉の変化についても同様の効果が得られる。

【0048】このように、本発明による光情報再生装置を用いれば、いかなる光情報記録再生装置や光記録媒体においても、さらには経時変化や環境温度の変化が生じた場合でも、符号間干渉を十分に低減できる。しかも、

等化係数学習回路107は、主に加算器と減算器と利得調整回路で構成されるので、従来のCPUを用いて等化係数を求める場合に比べて短時間で済み、ランダムアクセスにも高速に対応することが可能となる。

【0049】以上、本発明の好適な実施例について説明したが、本発明は前記実施例に限定されることなく、本発明の精神を逸脱しない範囲内において種々の設計変更をなし得ることは勿論である。

【0050】

【発明の効果】前述した実施例から明らかなように、本発明によれば、等化係数の学習領域を設けた光記録媒体を用いて等化係数学習用のマークを記録再生して実際の装置上で測定して得られた等化係数を用いた等化処理を行って符号間干渉を削除することにより、いかなる光情報記録再生装置や光記録媒体においても、さらには経時変化や環境温度の変化が生じた場合でも、符号間干渉を十分に低減できるので記録密度の向上を図ることができる。

【0051】また、従来は変動要因に対して適応的に等化を行なうためには回路構成が複雑になったが、本発明では、等化後信号の分解能を検知するだけでよいので等化係数学習回路を簡易な構成で実現できる。これにより、情報再生時に問題となる符号間干渉を実時間で低減することができ、ランダムアクセスにも高速に対応することが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光情報記録再生装置の一実施例を示す概略構成図である。

【図2】本発明に係る光情報記録再生装置で用いる光学的情報記録媒体の一実施例を示す図である。

【図3】本発明に係る光情報記録再生装置を構成する等化係数学習回路の一実施例を示す図である。

【図4】本発明に係る光情報記録再生装置を構成する等化回路の一実施例を示す図である。

【図5】本発明に係る光情報記録再生方法の、等化係数学習マークの等化後信号とサンプルクロックの関係を示す図である。

【図6】符号間干渉が無い場合の周波数スペクトルの関係を示す図である。

【図7】符号間干渉が存在する場合の周波数スペクトルの関係を示す図である。

【図8】本発明に係る光情報記録再生方法および装置の効果を示す図である。

【図9】本発明に係る光情報記録再生方法および装置の

原理を示す図である。

【図10】本発明に係る光情報記録再生装置を構成するデータ復調回路の一実施例を示す図である。

【図11】従来技術に係る光情報再生装置を示す図である。

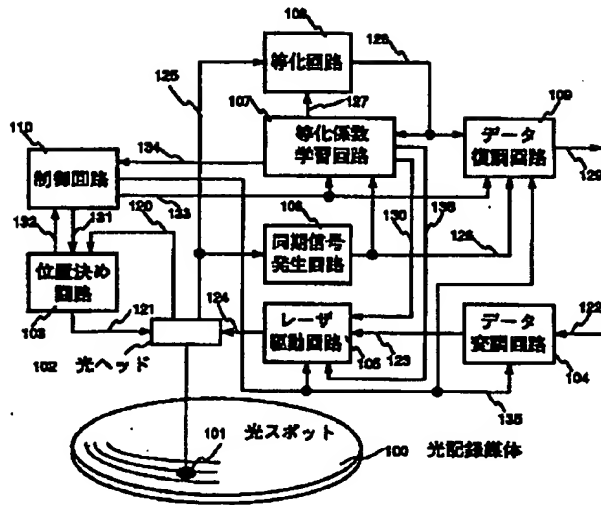
【図12】従来技術に係る光情報再生装置を示す図である。

【符号の説明】

100…光記録媒体、101…光スポット、102…光ヘッド、103…位置決め回路、104…データ変調回路、105…レーザ駆動回路、106…同期信号発生回路、107…等化係数学習回路、108…等化回路、109…データ復調回路、120…サーボエラー信号、121…位置決め信号、122…ユーザデータ、123…変調データ、124…記録パルス、125…再生信号、126…同期信号、127…等化係数、127a～127c…等化係数、128…等化後信号、129…再生ユーザデータ、130…学習マーク記録パルス、131…移動命令信号、132…位置決め完了信号、133…等化係数学習開始信号、134…等化係数最適化完了信号、135…記録ゲート、136…等化係数学習マーク記録開始信号、140a～140c…等化係数学習領域、141a～141c…データ記憶領域、142…トラック、143…情報マーク、144…等化係数学習マーク、150～151…遅延回路、152～154…利得調整回路、155…加算器、160～161…遅延信号、162～164…利得調整信号、200～201…ローパスフィルタ、202～203…サンプル・ホールド回路、204～205…A/D変換器、206～209…加算回路、210～211…差分回路、212～213…タイミング制御回路、214～215…通倍回路、216～217…反転回路、218…利得調整回路、219…差分回路、220…マイクロプロセッサ、221…学習マークパターン発生回路、250～251…雑音低減後信号、252～253…ホールド後信号、254～255…デジタル信号、256～257…トップレベル信号、258～259…ボトムレベル信号、260…4T波形の振幅、261…16T波形の振幅、262…4Tサンプルクロック、263…16Tサンプルクロック、264～265…通倍クロック、266～267…反転通倍クロック、268…利得調整4T振幅、269…等化係数評価信号、270…分解能計算開始信号、271…リセット信号。

【図1】

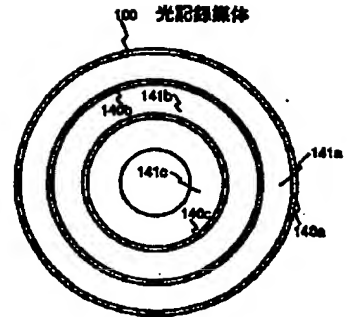
図1



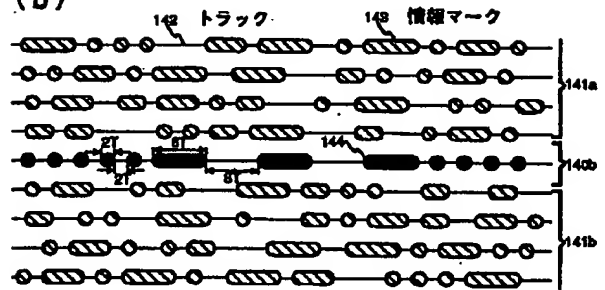
【図2】

図2

(a)

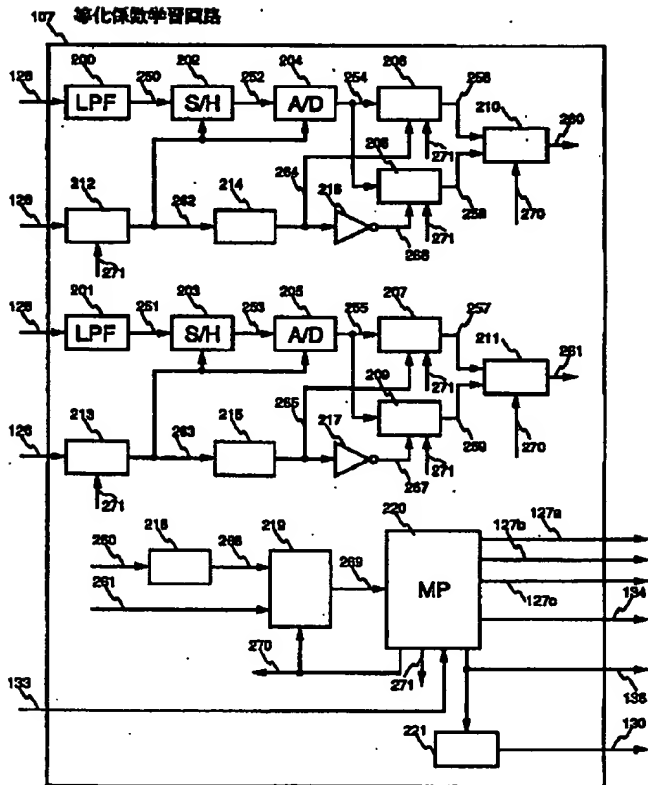


(b)



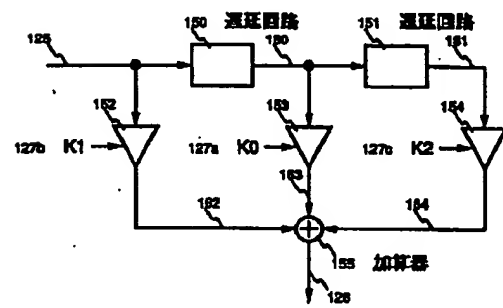
【図3】

図3



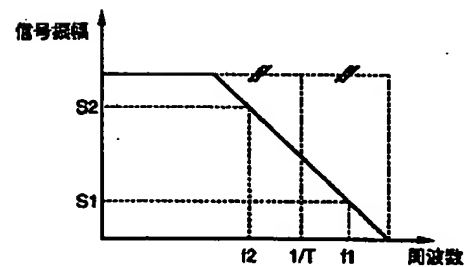
【図4】

図4

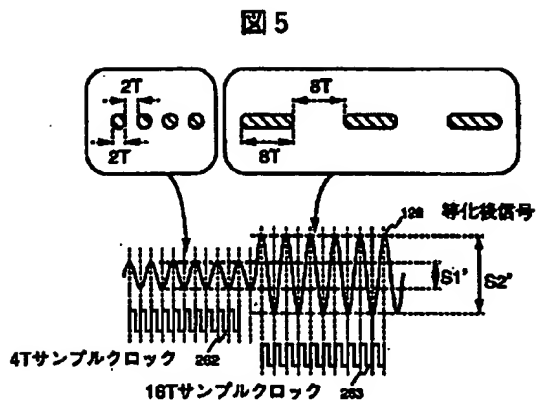


【図6】

図6

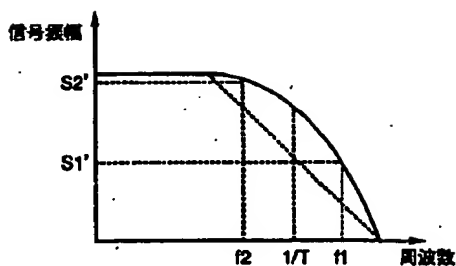


【図5】



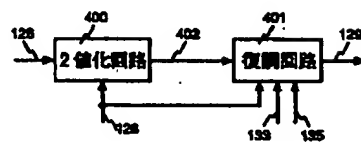
【図7】

図7



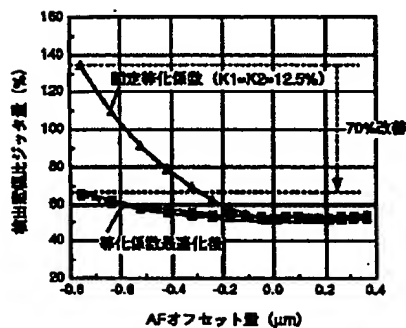
【図10】

図10



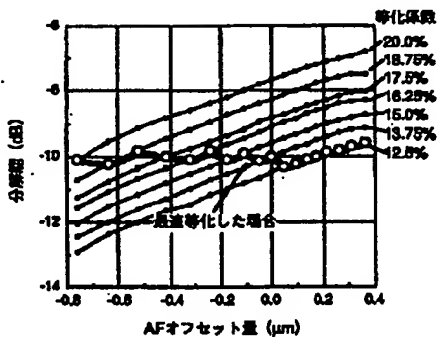
【図8】

図8



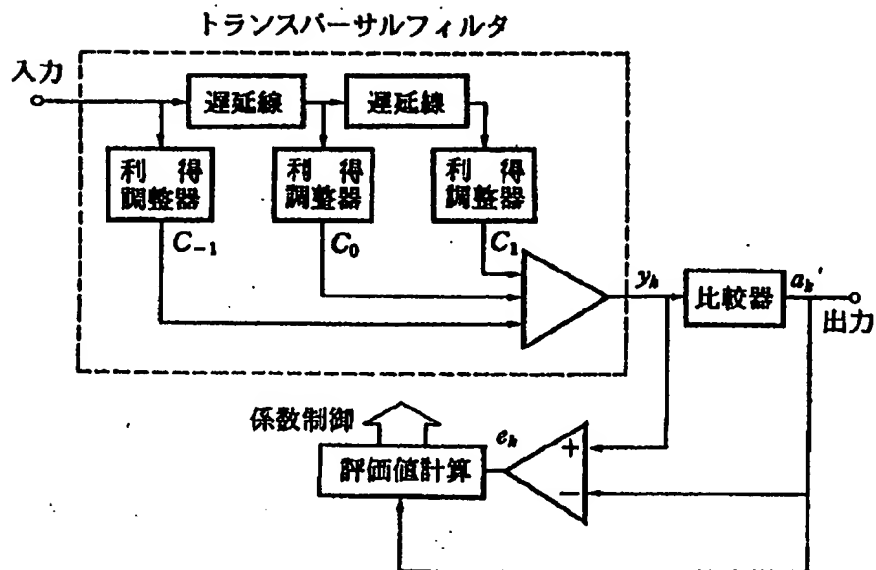
【図9】

図9



【図11】

図11



【図12】

図12

